

Studi Penentuan Umur dan Laju Pertumbuhan Terumbu Karang terkait dengan Perubahan Iklim Ekstrim Menggunakan Sinar-X
(Ali Arman, dkk.)

ISSN 1907-0322

Studi Penentuan Umur dan Laju Pertumbuhan Terumbu Karang terkait dengan Perubahan Iklim Ekstrim Menggunakan Sinar-X

Study to Determination the Age and Extension Rate of Corals in Related to Climate Change by X-ray

Ali Arman^{1,2}, Neviaty P. Zamani² dan Tsuyoshi Watanabe³

¹ Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi, BATAN
email: alilubis@batan.go.id

² Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, IPB

³ Department of Natural History Science, Hokkaido University, JAPAN

Diterima 25 Maret 2013; Disetujui 20 Mei 2013

ABSTRAK

Studi Penentuan Umur dan Laju Pertumbuhan Terumbu Karang terkait dengan Perubahan Iklim Ekstrim Menggunakan Sinar-X. Telah dilakukan penelitian untuk menentukan umur dan laju pertumbuhan terumbu karang dengan sinar-X dan kaitannya dengan kejadian El-nino serta perubahan iklim di daerah Kepulauan Seribu. Sampel karang massif jenis *Porites Lutea* diambil secara vertikal menggunakan alat bor *pneumatic* diameter 5 cm. Sampel terumbu karang dipreparasi dan disinari dengan sinar-X dan dianalisis dengan *software Image-J* untuk menentukan umur, arah dan laju pertumbuhan linier. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata laju pertumbuhan terumbu karang pada tiga lokasi penelitian tidak jauh berbeda, tetapi penurunan yang lebih besar terjadi di daerah yang lebih dekat dengan daratan Jakarta. Berdasarkan analisis laju pertumbuhan dapat diidentifikasi dua kejadian El-Nino terbesar yaitu tahun 1997-1998 dan 1982-1983.

Kata kunci : Sinar-X, terumbu karang, umur, laju pertumbuhan, El-nino.

ABSTRACT

Study to Determination the Age and Extension Rate of Corals in Related to Climate Change by X-ray. The research has been conducted to determine the age and growing rate of corals using x-ray and its correlation with El-nino events and climate change in Kepulauan Seribu. Massive corals *Porites Lutea* were drilled vertically using pneumatic drilling with 5 cm in diameter. Samples were prepared, x-rayed and analyzed using software Image-J to determine age, linear growth direction and rate. The result shows that average of growth rate of coral in three locations in Kepulauan Seribu is about the same, however the growing rate toward onshore is higher than other locations. Based on the analysis of growing rate, there are two-largest El-Nino events that can be determined related to the period of 1997-1998 and 1982-1983.

Key words : X-ray, coral, age, growing rate, El-nino.

PENDAHULUAN

Data pengukuran suhu dan parameter iklim secara langsung hanya tersedia beberapa tahun ke belakang, sehingga tidak

dapat digunakan untuk kajian perubahan iklim dalam skala ratusan tahun atau lebih. Terumbu karang, lingkaran tahun kayu, lapisan es dan sedimen dapat memberikan informasi paleo perubahan

iklim untuk rekonstruksi perubahan iklim masa lampau [1]. Proksi ini sangat penting dalam kajian perkiraan perubahan iklim dan juga untuk fenomena global seperti *El-Nino Southern Oscillation* (ENSO), Asia dan Afrika *moonsoon*, Osilasi dekade Pasifik dan mekanisme perubahan iklim tersebut. Perubahan iklim memberikan efek sosial dan ekonomi yang berkaitan dengan terjadinya musim kemarau yang panjang, banjir, badai, hujan salju serta ketersediaan produksi laut seperti ikan.

Terumbu karang massif modern atau fosil yang terbentuk dari endapan kalsium karbonat (CaCO_3) dapat tumbuh dari skala millimeter hingga centimeter per-tahun. Selama dalam proses pertumbuhan akan terbentuk lingkaran tahunan (*annual band*) yang merupakan kerangka (*skeleton*) terumbu karang yang dapat digunakan untuk kronologi yang disebut dengan skleokronologi. Selanjutnya, selama proses pembentukan kerangka karang tersebut juga terjadi inkorporasi isotop dan unsur-unsur yang mencerminkan kondisi lingkungan dalam air laut sekitar seperti suhu permukaan laut, kesetimbangan hidrologi (evaporasi dan presipitasi) dan sirkulasi laut.

Pemutihan karang (*coral bleaching*) terjadi karena hilangnya alga *zooxanthellae* yang bersimbiosis dengan terumbu karang. Hal ini disebabkan pemanasan di atas kondisi normal (atau di bawah kondisi normal) pada lingkungan laut sekitar. Kejadian seperti ENSO dapat menyebabkan terjadinya pemutihan karang [2,3,4]. Percobaan di laboratorium dan hasil penelitian secara langsung di lapang menyimpulkan bahwa kenaikan suhu adalah faktor yang paling dominan yang menyebabkan terjadinya pemutihan karang [5,6].

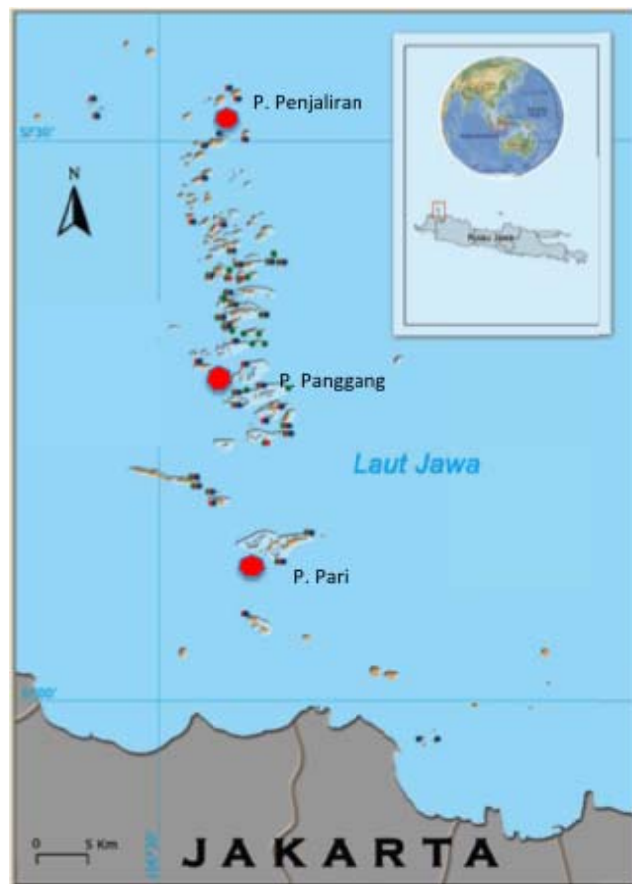
Pada penelitian ini dilakukan studi untuk penentuan umur dan laju pertumbuhan karang dan kaitannya dengan kejadian kondisi iklim ekstrim El-nino di daerah Kepulauan Seribu dengan menggunakan sinar-X.

BAHAN DAN METODE

Sampel karang

Pengambilan sampel karang berupa *Porites Lutea* dilakukan pada bulan Juli 2011, Agustus 2011 dan bulan Juni 2012. Lokasi pengambilan sampel adalah di Pulau Pari, Pulau Panggang dan Pulau Penjaliran. Jarak masing-masing titik pengambilan sampel dari pantai Jakarta adalah sekitar 15 km untuk Pulau Pari, 30 km untuk Pulau Panggang dan 60 km untuk Pulau Penjaliran (Gambar 1). Pengambilan sampel dilakukan menggunakan alat bor tangan *pneumatic* yang dihubungkan ke tabung udara selam untuk menggerakkan pipa *stainless steel* yang diujungnya terpasang mata bor. Diameter dari bor adalah 5 cm dan panjang 50 cm, dan dapat diperpanjang menggunakan sambungan hingga 5 m. Terumbu karang dibor pada bagian tengahnya secara vertikal untuk mendapatkan arah dan laju pertumbuhan yang kontinu. Pada saat alat bor digunakan, air dialirkan menggunakan pompa yang dilewatkan melalui bagian dalam pipa *stainless steel* yang berfungsi untuk mengeluarkan butir-butir halus dari karang yang tergerus oleh mata bor. Hal ini untuk menghindari terjadinya pemblokiran pada perputaran mata bor. Setelah selesai pengambilan sampel, bekas lobang bor ditutup dengan semen agar terumbu karang bisa hidup kembali dan juga untuk menghindari hewan atau organisme masuk ke dalam karang yang dapat merusak karang tersebut. Data hasil pengambilan sampel dapat dilihat pada Tabel 1.

Pengambilan sampel dengan alat bor diawali pada tahun 2011 dan pada awalnya beberapa sampel mengalami patah pada bagian tengah. Akan tetapi pada sampling tahun 2012, hal tersebut telah dapat diatasi sehingga diperoleh sampel yang kontinu dari permukaan hingga dasar karang. Total sampel yang diperoleh adalah 9, namun hanya 4 sampel yang dapat digunakan yaitu sampel kode PS-I (Pulau Penjaliran), PS-IV (Pulau Panggang), PS-VIII (Pulau Pari) dan PS-IX (Pulau Pari). Seluruh sampel dicuci dengan air tawar, dikeringkan dan dibawa



Gambar 1. Lokasi penelitian di Kepulauan Seribu; Pulau Penjalinan, Pulau Panggang dan Pulau pari.

ke Laboratorium Kelautan, Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi (PATIR) untuk dianalisis.

Sampel yang diperoleh pada tahun 2011 di potong menjadi bentuk lempengan (*slab*), memanjang dari atas ke bawah dengan ketebalan 5 mm menggunakan alat potong gerinda. Selama proses pemotongan, air dialirkan untuk menghilangkan sisa potongan karang yang menempel dipermukaan. Selanjutnya sampel yang berupa lempengan dianalisis di Laboratorium Core Coral Center (CCC), Departemen of Natural History Science, Faculty of Science, Hokkaido University, Jepang menggunakan teknik radiografi sinar-X, isotop stabil ($\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^{13}\text{C}$) dan kandungan logam Ca, Sr, Mg, dan Ba.

Sampel yang diperoleh pada tahun 2012 dipotong seperti proses di atas hingga

berbentuk lempeng, selanjutnya dianalisis dengan radiografi sinar-X di laboratorium Uji tak Merusak (*Non-Destructive Test*), Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi, BATAN untuk mengetahui umur, arah dan laju pertumbuhan liniernya. Selain dengan sinar-X, sampel karang juga dianalisis menggunakan sinar *Ultra Violet* (UV) untuk mengetahui adanya pengaruh dari daratan yang membawa banyak nutrien dan sedimen. Analisis ini dapat memberikan informasi kronologi pencemaran dan kejadian banjir di masa lampau, karena pada saat banjir, banyak material baik organik maupun anorganik yang terbawa oleh aliran air yang dapat mengendap pada kerangka karang.

Radiografi sinar-X dan sinar UV

Sinar-X dan UV merupakan gelombang elektromagnet dengan panjang gelombang masing-masing antara 10^{-11} dan 10^{-8} untuk sinar-X dan antara 10^{-8} dan 10^{-7} untuk sinar UV. Bila sinar-X dilewatkan pada suatu objek, maka sebagian radiasi yang ada akan diteruskan sehingga citra objek dapat direkam pada film.

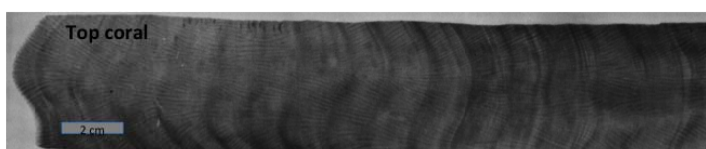
Sampel lempeng terlebih dahulu dibersihkan dalam *ultrasonic bath* yang diulang 3 kali untuk menghilangkan sisa potongan karang yang menempel di permukaan sampel dan juga kontaminan lainnya. Sampel tahun 2011 dianalisis dengan generator SOFTEX M-60 X-Ray V 55 keV dengan lama penyinaran 45 detik. Sampel yang diperoleh pada tahun 2012 di

analisis dengan generator Rigaku Radioflex RF-300EGM2 130 keV dengan lama penyinaran 3 detik. Setelah melalui proses pencucian di ruang gelap, diperoleh hasil film positif dari masing masing terumbu karang. Film positif selanjut diubah menjadi format digital menggunakan scanner film positif. Hasil scanner dianalisis dengan *software Image-J* (*open source software*, <http://imagej.nih.gov/ij>) untuk menentukan umur dan laju pertumbuhan karang.

Penyinaran dengan sinar UV dilakukan dengan menggunakan lampu UV LUV-16 dengan panjang gelombang 365 nm. Selama proses penyinaran yang dilakukan di ruang gelap, pantulan sinar UV dari sampel terumbu karang difoto dengan kamera digital. Selanjutnya dianalisis dengan

Tabel 1. Data sampel terumbu karang dari lokasi penelitian Kepulauan Seribu.

No	Kode	Tanggal	Kordinat	Lokasi	Panjang sampel (cm)	Kedalaman permukaan karang (m)
			Lintang; Bujur			
1.	PS-I	29-07-2011	5°28'8.48"LS; 106°32'35.55"BT	Pulau Penjaliran	95	1,2
2.	PS-II	29-07-2011	5°28'8.48"LS; 106°32'35.55"BT	Pulau Penjaliran	30	1
3.	PS-III	29-07-2011	5°28'8.48"LS; 106°32'35.55"BT	Pulau Penjaliran	35	1
4.	PS-IV	30-07-2011	5°44'6.01"LS; 106°34'30.90"BT	Pulau Panjang	86	1,5
5.	PS-V	30-07-2011	5°43'48.08"LS; 106°33'45.57"BT	Pulau Panjang	43	1,3
6.	PS-VI	31-07-2011	5°51'59.52"LS; 106°35'45.32"BT	Pulau Pari	109	1
7.	PS-VII	20-08-2011	5°52'2.74"LS; 106°35'43.31"BT	Pulau Pari	85	1
8.	PS-VIII	22-08-2011	5°51'59.52"LS; 106°35'45.32"BT	Pulau Pari	98	1
9.	PS-IX	30-06-2012	5°51'59.52"LS; 106°35'45.32"BT	Pulau Pari	150	0,75



Gambar 2. Foto film positif sinar-X terumbu karang Pulau Pari (PS-IX).

software Image-J yang dapat memberikan informasi umur serta kronologi pencemaran yang digunakan juga untuk mendukung data hasil sinar-X.

Data Suhu Permukaan Laut (SPL)

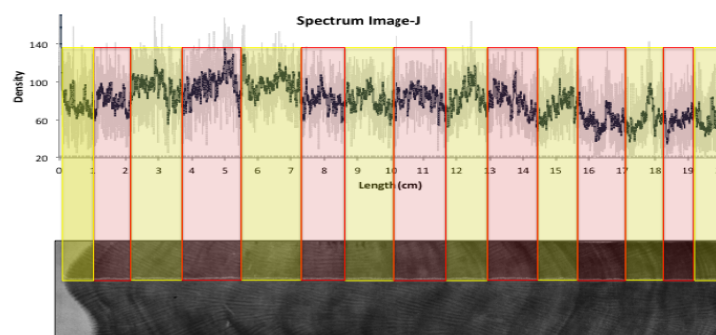
Pengukuran suhu dilakukan pada ketiga daerah penelitian dari Juni 2011 sampai dengan November 2012 menggunakan alat kedap air (waterproof) logger HOBO dengan interval pengukuran setiap 1 jam. Alat dipasang pada kedalaman sekitar 3 m dengan cara diikatkan pada terumbu karang sehingga data yang diperoleh dapat mewakili kondisi perairan pada saat pengukuran. Data suhu tersebut akan digunakan untuk kalibrasi data SPL yang diperoleh dari satelit. Berdasarkan data SPL dari satelit dapat diidentifikasi kejadian El-nino dan juga didukung oleh data hasil publikasi penelitian dan pengamatan. Data SPL yang digunakan adalah ERSST V3b (Extended Reconstructed Sea Surface Temperature) pada posisi 106,5°BT dan 5,5°LS yang merupakan daerah penelitian. Data ERSST dapat diperoleh di website (<http://nomads.ncdc.noaa.gov/las/getUI.do>). Kriteria pengelompokan kenaikan suhu yang berkaitan dengan kejadian El-nino ditentukan berdasarkan indeks NINO 3.4, dimana jika kenaikan suhu lebih besar dari +0,4°C selama 5 bulan dikategorikan terjadi El-nino dan sebaliknya jika terdapat

perbedaan -0,4°C dikategorikan sebagai kejadian La-nina [7].

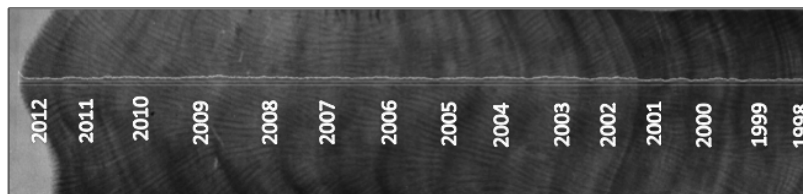
HASIL DAN PEMBAHASAN

Umur dan laju pertumbuhan terumbu karang

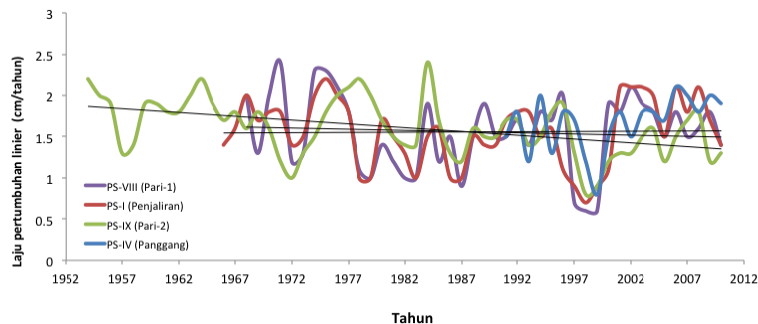
Salah satu film positif hasil radiografi sinar-X dapat dilihat pada Gambar 2. Pada Gambar 2 terlihat adanya perbedaan yang nyata antara densitas tinggi dan densitas rendah atau gelap dan terang, hal ini berkaitan dengan periode tahunan (*annual banding*) dari pertumbuhan terumbu karang tersebut. Pada Gambar 2 juga terlihat adanya arah pertumbuhan terumbu karang yang tegak lurus dari bawah hingga permukaan karang. Untuk mendapatkan umur yang lebih akurat, digunakan *software Image J* yang dapat membedakan densitas tinggi dan densitas rendah dari digital film (Gambar 3). Analisis dilakukan mengikuti arah pertumbuhan karang. Hasil analisis dengan *Image-J* dari salah satu sampel dapat dilihat pada Gambar 4. Berdasarkan hasil analisis tersebut diperoleh umur masing-masing terumbu karang PS-I, PS-IV, PS-VIII dan PS-IX adalah berturut-turut 45, 20, 43 dan 58 tahun, yang sesuai dengan tahun 1966, 1991, 1968 dan 1954. Rata-rata laju pertumbuhan terumbu karang dari masing-masing sampel PS-I, PS-IV, PS-VIII dan PS-



Gambar 3. Spektrum hasil analisis dengan Image-J yang dipasangkan dengan foto film positif sinar-X terumbu karang Pulau Pari (PS-IX).



Gambar 4. Umur tahunan terumbu karang diperoleh dari hasil analisis dengan *Image-J*.



Gambar 5. Laju pertumbuhan linier terumbu karang Kepulauan Seribu; Pulau Penjaliran, Pulau Panggang dan Pulau Pari.

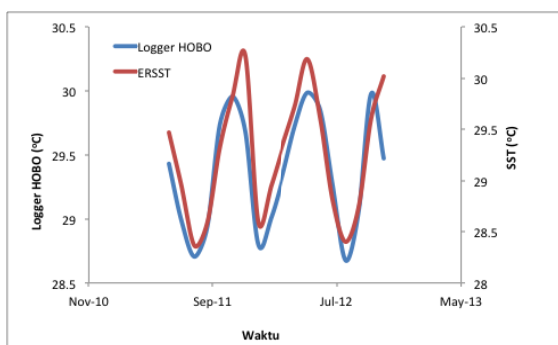
IX adalah berturut-turut $1,56 \pm 0,40$ cm/tahun, $1,66 \pm 0,33$ cm/tahun, $1,56 \pm 0,45$ cm/tahun, dan $1,61 \pm 0,34$ cm/tahun.

Kalibrasi suhu dan identifikasi terjadinya El-nino

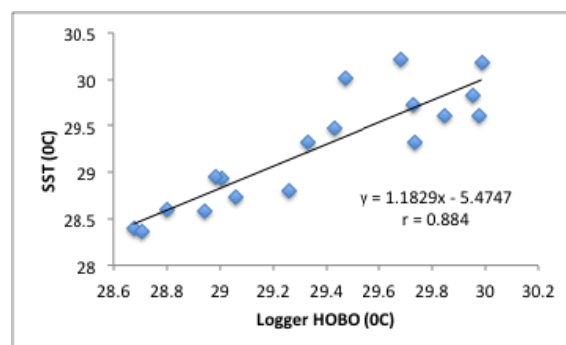
Data pengukuran SPL dengan alat HOBO pada tiga lokasi penelitian menunjukkan nilai yang hampir sama selama pengukuran dari Juni 2011 sampai dengan November 2012. Data pengukuran

langsung tersebut digunakan untuk kalibrasi data ERSST dari satelit selama rentang waktu pengukuran. Korelasi suhu antara pengukuran dan ERSST dapat dilihat pada Gambar 6a dan 6b. Koefisien korelasi cukup tinggi dengan $r=0,884$ yang menunjukkan bahwa data satelit hampir mendekati data hasil pengukuran.

El-nino ditentukan berdasarkan kenaikan (pertambahan) rata-rata SPL diatas $0,4^{\circ}\text{C}$ selama 5 bulan berturut-turut.



Gambar 6a. Data hasil pengukuran suhu dengan logger HOBO dan data SPL satelit ERSST.



Gambar 6b. Kurva korelasi SPL data satelit dan hasil pengukuran dengan logger HOBO.

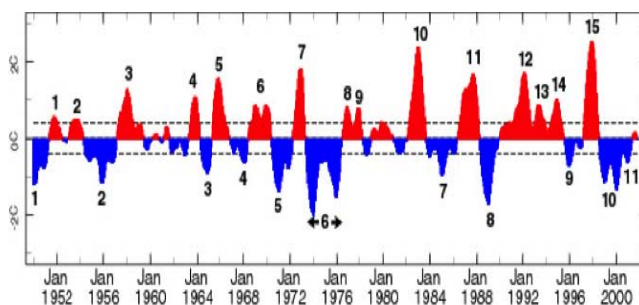
Kejadian El-nino mulai periode tahun 1950 sampai dengan 2002 dapat dilihat pada Gambar 7a. Setelah tahun 2002, El-nino juga terjadi pada tahun 2005 dan 2010 [8]. Kekuatan dari El-nino tersebut dapat ditentukan berdasarkan nilai indeks NINO 3.4, dan berdasarkan kriteria tersebut ada 6 kejadian El-nino yang sangat kuat dengan urutan dari yang terbesar berturut-turut adalah tahun 1997-1998, 1982-1983, 1972-1973, 1991-1992, 1986-1987 dan 1957-1958 (Gambar 7b).

Terumbu karang jenis *Porites* dapat hidup hingga ratusan tahun dengan ketinggian terumbu karang hingga 3 sampai 4 meter, bergantung pada beberapa faktor. Pada penelitian ini diperoleh terumbu karang dengan variasi umur yang berbeda dengan umur yang paling lama adalah PS-IX dari Pulau Pari yang berumur hingga 58 tahun sedangkan yang paling kecil adalah PS-IV dari Pulau Panggang. Pada saat pengambilan sampel terumbu karang diupayakan tanpa putus-putus hingga dasar karang seperti yang diperoleh pada sampel PS-I, PS-VIII dan PS-IX, hal ini tidak dapat dilakukan pada sampel PS-IV karena alasan tertentu, sehingga umur yang dapat ditentukan hanya sampai 20 tahun walaupun panjang sampel adalah 86 cm (Tabel 1).

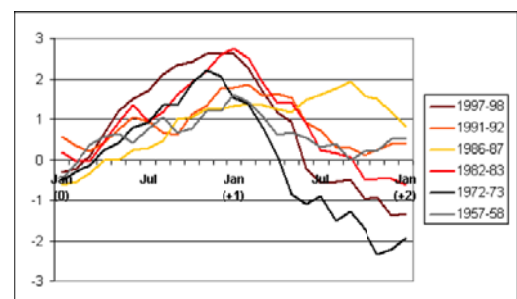
Laju pertumbuhan karang rata-rata pada semua lokasi tidak jauh berbeda,

demikian juga fluktuasi pada semua lokasi menunjukkan pola yang hampir sama (Gambar 5). Hal ini menunjukkan bahwa secara umum karakteristik terumbu karang pada semua lokasi mengalami kondisi lingkungan yang sama yang berkaitan dengan faktor skala regional seperti kenaikan SPL dalam kaitannya dengan perubahan iklim. Bila ditinjau dari pertumbuhan karang per-tahun serta kecenderungannya, masing-masing terumbu karang mempunyai perbedaan. Terumbu karang dari pulau Pari (PS-VIII dan IX) mengalami penurunan yang lebih besar dibandingkan dengan Pulau Penjaliran (PS-I). Hal ini kemungkinan disebabkan oleh adanya faktor lingkungan seperti degradasi kualitas air di Pulau Pari karena berada relatif lebih dekat dengan daratan (Jakarta) [9]. Periode tahun kejadian El-nino terutama 6 periode yang terbesar diplotkan terhadap laju pertumbuhan linier terumbu karang dapat dilihat pada Gambar 8. Tahun 1997-1998 merupakan periode yang terbesar dari semua El-nino yang terjadi, menyebabkan pemutihan karang pada semua daerah termasuk Lautan Hindia dan Lautan Pasifik. Di daerah ini, sekitar 18% terumbu karang di daerah Asia Tenggara diperkirakan mengalami kerusakan [10].

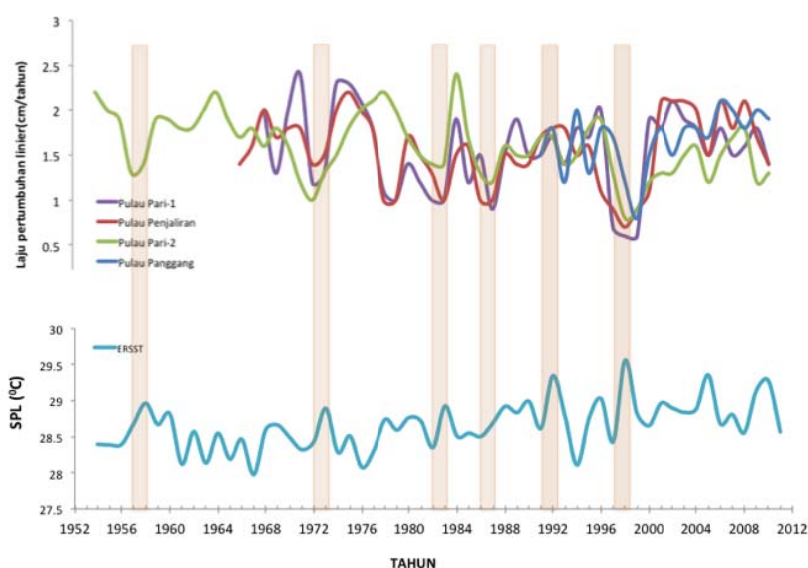
Kejadian El-nino pada periode tersebut di Kepulauan Seribu telah dilaporkan oleh Suharsono dengan tingkat kematian



Gambar 7a. Indeks NINO 3.4 dari Januari 1950 sampai Januari 2002 dengan kejadian El-nino (ENSO). (Sumber; *International Research Institute for Climate and Society/ Climate Data Library*).



Gambar 7b. Tingkatan El-nino yang terjadi sejak 1950. (Sumber; *International Research Institute for Climate and Society/ Climate Data Library*).



Gambar 8. Laju pertumbuhan linier terumbu karang dan korelasinya dengan data suhu permukaan laut (SPL) serta periode terjadinya El-Niño (6 kejadian terbesar).

terumbu karang bercabang (*branching*) 90-95% [10]. Hasil dari analisis terumbu karang pada semua lokasi penelitian ini menunjukkan penurunan laju pertumbuhan yang hampir sama yang dapat disebabkan oleh El-niño tersebut.

Besarnya penurunan laju pertumbuhan tersebut adalah rata-rata 57%. Setelah mengalami pemutihan, terumbu karang kembali ke kondisi sebelumnya sekitar 2 tahun kemudian (tahun 2000) seperti terlihat pada Gambar 8. Secara umum, semua terumbu karang di sekitar Pulau Pari kembali ke kondisi normal setelah 2 tahun kejadian El-niño [10]. Periode 1982-1983, El-niño terjadi di Kepulauan Seribu, terumbu karang di Pulau Pari mengalami kematian sekitar 80-90% disebabkan oleh kenaikan SPL yang berkaitan dengan kejadian El-niño[5]. Terumbu karang pada penelitian ini mengalami penurunan laju pertumbuhan linier sebesar rata-rata 40%. Pada dua periode selanjutnya yaitu 1972-1973 dan 1986-1987, pada dua periode ini laju pertumbuhan linier mengalami penurunan rata-rata yang sama yaitu 31%. Penurunan

laju pertumbuhan linier kemungkinan disebabkan oleh faktor lingkungan sekitar. Pada periode tersebut dilaporkan tidak terjadi *bleaching* di daerah Kepulauan Seribu [11]. Periode 1991-1992, rata-rata penurunan laju pertumbuhan adalah 11%, tidak terlihat adanya penurunan laju pertumbuhan yang signifikan. Sama dengan periode sebelumnya (1986-1987), pada periode ini juga tidak terjadi *bleaching* di Kepulauan Seribu. Periode 1957-1958, penurunan laju pertumbuhan yang hanya pada terumbu karang PS-IX sebesar 26%. Akan tetapi nilai tersebut kurang mewakili perairan Kepulauan Seribu karena hanya berasal dari satu lokasi. El-niño pada tahun 2010, dilaporkan terjadi *bleaching* di pantai barat Sumatera, Sulawesi dengan persentase 75%, sedangkan di daerah lainnya termasuk Kepulauan Seribu hanya mengalami sedikit *bleaching* [12].

Penurunan laju pertumbuhan linier karang di Kepulauan Seribu pada saat terjadi El-niño secara regional, pada periode tertentu seperti tahun 1986-1987 dan 1991-1992 serta 2010 lebih dipengaruhi oleh faktor lingkungan daerah sekitar.

KESIMPULAN

Sinar-X dapat digunakan untuk penentuan umur serta laju pertumbuhan linier terumbu karang modern. Jenis karang *Porites* merupakan salah satu karang massif yang dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik perairan seperti peningkatan suhu permukaan laut yang salah satunya diakibatkan oleh El-nino. Beberapa kejadian El-nino di daerah Kepulauan Seribu dapat diidentifikasi melalui penurunan laju pertumbuhan linier terumbu karang terutama pada saat terjadi El-nino dalam skala besar seperti tahun 1997-1998 dan 1982-1983. Penurunan laju pertumbuhan linier juga diakibatkan oleh faktor kondisi perairan yang terjadi pada skala kecil (lokal) seperti akibat adanya peningkatan kadar polutan, nutrisi dan sedimentasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Ofri Djohan, Agustin Rustam, Aditya Dwi Permana, dan sdr. Dudi Prayudi atas bantuannya dalam pengambilan sampel, sdr. Nandang atas bantuannya dalam pembuatan alat bor dan sdr. Harja Widjaya untuk X-ray radiografi. Kegiatan ini adalah bagian dari program beasiswa dan magang Kementerian Negara Riset dan Teknologi serta Hibah Pasca-sarjana IPB.

DAFTAR PUSTAKA

1. FELIS, T., and PATZOLD, J., "Climate Reconstructions from Annually Banded Corals", *Global Environmental Change in the Ocean and on Land*, Eds., TERRAPUB, 205-227 (2004).
2. GLYNN, P.W., Coral Reef Bleaching: Facts, Hypotheses and Implications", *Global Change Biology*, **2**, 495-509 (1996).
3. BROWN, B.E., Coral Bleaching: Causes and Consequences, *Coral reefs*, **16**, Suppl, 129-138 (1997).
4. HOEGH-GULDBERG, O., Climate Change, Coral Bleaching and the Future of the World's Coral Reefs' *Mar. Freshwater Res.*, **50**, 839-866 (1999).
5. BROWN, B.E., and SUHARSONO, Damage and Recovery of Coral Reefs affected by El Nino Related Seawater Warming in the Thousand Island, Indonesia, *Coral Reefs*, **8**, 163-170 (1990).
6. HOEGH-GULDBERG, O., and SALVAT B., Periodic Mass-Bleaching and elevated sea temperatures: bleaching of outer reef Slope Communities in Moorea, French Polynesia, *Mar Ecol Prog Ser* **121**, 181-190 (1995).
7. BUNGE, L., and CLARKE A.J., A Verified Estimation of the El Nino Index Nino-3.4 since 1877, *Journal of Climate, American Meteorological Society*, **22**, 3979-3992 (2009).
8. ENSO Cycle: Recent Evolution, Current Status and Predictions, http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/lanina/ens_o_evolution-status-fcsts-web.pdf.
9. PURNAMASARI, I.A., dan CAHYARINI, S.Y., Suhu Muka Laut dan Pengaruhnya terhadap Pertumbuhan Linier Karang Kepulauan Seribu, *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*, **20** (2), 111-117 (2010).
10. United Nation Environment Program (UNEP), "Reefs at Risk in Southeast Asia", A publication of the World Resources Institute in collaboration

-
- with the United Nations Environment Programme-World, Conservation Monitoring Centre, the World Fish Center, and the International Coral Reef Action Network, report, (2002).
11. CHOU, L. M., TUAN, V. S., PHILREEFS, YEEMIN, T., CABANBAN, A., SUHARSONO dan KESSNA, I., Status of Southeast Asia Coral Reefs. In: C.R. Wilkinson (ed.), Status of coral reefs of the world: 2002. GCRMN Report, Australian Institute of Marine Science, Townsville. Chapter 7, 123-152 (2002).
12. INDONESIA - GLOBAL MASS BLEACHING OF CORAL REEFS IN 2010 <http://www.icriforum.org/news/2010/08/indonesia-global-mass-bleaching-coral-reefs-2010>.